

뇌충격전류에 의한 산화아연형 피뢰기 소자의 전기적 특성과 피뢰기 열화진단 전문가 시스템

論 文
51C-4-3

Electrical Characteristics of ZnO Blocks by a Lightning Impulse Current and the Expert System to Diagnose Arrester Deterioration

吉暎碩* · 韓柱燮** · 宋在鏞** · 金明珍*** · 金正培§ · 趙漢九§§

(Gyung-Suk Kil · Joo-Sup Han · Jae-Yong Song · Myung-Jin Kim · Jung-Bae Kim · Han-Gu Cho)

Abstract - This paper describes an effect of a single- and a quadruple-lightning impulse currents on electrical characteristics of ZnO blocks, and an expert system to diagnose arrester deterioration.

To deduce the parameters needed for diagnosing arrester deterioration, an accelerate deterioration test is carried out. In the experiment, leakage current components are measured. Also, wave height distribution of the leakage current according to the progress of arrester deterioration is analyzed.

From the experimental results, the wave height distribution of the leakage current showed conspicuous difference even in an immaterial leakage current increase. Therefore, the use of wave height distribution of the leakage current in deterioration diagnostic technique makes more accurate diagnosis than the conventional method by using only a leakage current value. Finally, the expert system based on the experimental results is developed and the system can diagnose arrester deterioration by measuring the leakage current and its wave height distribution.

Key Words : Lightning arrester, Leakage current, Deterioration, Wave height distribution, Expert system

1. 서 론

피뢰기는 전력계통에 발생한 이상전압을 피보호기기의 절연전압 이하로 억제시켜 선로 및 기기를 안전하게 보호하는 역할을 한다. 현재는 전압-전류의 비선형 저항 특성이 우수한 ZnO 피뢰기 소자의 개발에 의해 피뢰기의 보호능력이 현저히 향상됨으로써 기술적, 경제적으로 혁신을 이루어 왔으나, 아직도 전력계통의 사고 중 많은 부분은 피뢰기의 열화가 원인이 되고 있다[1]~[3].

송·배전선로나 가스절연개폐장치와 같은 전력계통에서는 외부이상전압과 개폐과전압의 발생빈도가 높기 때문에 피뢰기의 보호동작횟수가 많아지게 되며, 이 과정에서 피뢰기는 열화가 진전된다[4]~[7]. 이러한 피뢰기 열화에 의한 사고를 미연에 방지하기 위하여 여러 가지 열화진단기술이 제안되어 왔으며, 열화진단 기준정보로 제한전압, 손실전력, 누설전류, 정전용량 등을 측정하는 것이었다. 그 중에서도 누설전류를 기준으로 피뢰기의 열화정도를 분석하는 방법은 피뢰기의 운전중 평가가 가능하므로 널리 이용되고 있다[8]~[10].

그러나 누설전류를 기준으로 열화를 진단하는 장치는 단순히 전체 누설전류 또는 누설전류의 제 3조과 성분의 실효값

을 측정하는 것으로, 열화진단에 필요한 구체적인 정보를 충분히 제공하지는 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 ZnO 피뢰기 소자를 이용하여 가속열화 실험으로부터 열화진전에 따른 전기적 특성변화를 분석함으로써 온라인 열화진단에 필요한 전기적 정보를 도출하였다. 특히 본 연구에서는 피뢰기 열화진단법으로 누설전류의 파고분포 분석에 의한 방법을 제안하였으며, 본 연구결과를 바탕으로 피뢰기 열화진단 전문가 시스템을 설계·제작하였다[11].

누설전류의 파고분석은 피뢰기의 열화정도에 따라 누설전류의 파고분포가 현저하게 변화함으로써 초기 상태와 비교하여 열화정도를 진단할 수 있는 방법으로, 지금까지 제안된 방법보다 정확하게 진단이 가능할 것으로 판단된다.

2. 이 론

ZnO 피뢰기 소자의 복합 미세구조는 그림 1과 같이 전압·전류특성이 대칭인 미세 비선형 저항소자가 직·병렬로 연결된 다중접속 구조를 가지고 있다. 주어진 ZnO 소자에 있어서 입자의 크기가 작을수록 입계의 수가 많아지므로 큰 전압에서 항복이 일어나게 된다.

ZnO 소자의 에너지내량은 입계의 병렬 연결 수에 의해 결정되며, 소자의 단면적이 증가하면 입계의 병렬 연결수가 증가하므로 에너지내량도 증가하게 된다. 그림 1에서 하나의 입계층은 3[V]~4[V]의 항복전압을 가진다. ZnO 소자와 같은 다결정상 반도체의 입계는 불순물의 편석 등에 의한 여러 가지 형태의 결함으로 인해 높은 에너지 상태를 갖게 되고 이를 낮추기 위해서 입계는 ZnO 입자로부터 더 전자를 빼앗아 음으로 대전된 상태가 된다. 반면 전자를 잃어버린 ZnO 입자

* 正 會 員 : 韓國海洋大 電氣電子工學部 副教授 · 工博

** 正 會 員 : 韓國海洋大 電氣工學科 博士修了

*** 準 會 員 : 韓國海洋大 電氣工學科 碩士

§ 正 會 員 : (株)曉星 重工業研究所 責任研究員 · 工博

§ § 正 會 員 : 韓國電氣研究員 責任研究員 · 工博

接受日字 : 2001年 9月 19日

最終完了 : 2002年 2月 4日

는 전자가 부족하여 양으로 대전된 영역인 공핍층(depletion layer)이 형성된다.

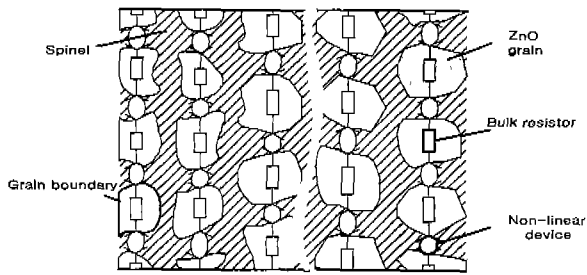


그림 1 ZnO 소자의 미세 구조
Fig. 1 Micro-structure of a ZnO block

이와 같이 계면에 포획된 전자와 공핍층이 양으로 이온화되어 형성된 격자 결함(ionized defects)은 에너지 밴드의 변형을 일으키면서 그림 2와 같이 입계를 중심으로 이중 전위장벽(double schottky barrier)을 형성하고 역바이어스측의 쇼트키 효과에 의하여 지배된다[12].

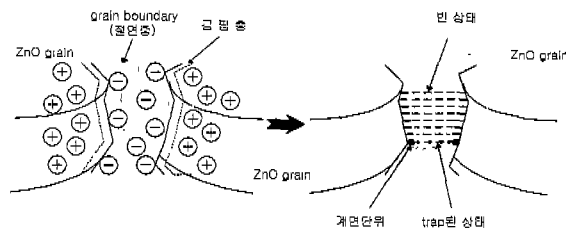


그림 2 ZnO 소자의 에너지대 모형
Fig. 2 Energy-band model of a ZnO block

ZnO 소자는 저전계영역(prebreakdown region)에서 단순한 캐패시터와 같은 역할을 하며 정상 운전상태에서와 같이 보호동작을 하지 않고 미소한 누설전류만이 흐른다. 이 전류는 ZnO 입자와 입계층 사이의 이중전위장벽에 낮은 전위가 가해지면 열적으로 활성화된 전자가 전위장벽을 넘어감으로써 발생한다. 이와 같이 ZnO 소자는 다중 복합구조를 가지므로 뇌충격전류나 교류 과전압 등으로 열화시 ZnO 소자내 모든 입자가 동시에 열화되지 아니하고 입자마다 열화도가 다르게 되므로, 누설전류의 크기에 있어 실효값, 평균값 및 최대값은 한주기내에서 큰 차이를 나타내지 않으나, 여기에 포함된 누설전류의 고주파 성분의 파고분포는 다양하게 변화한다. 그러므로 누설전류의 파고분포를 이용한 피뢰기 열화진단법은 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

3. 전기적 특성 변화

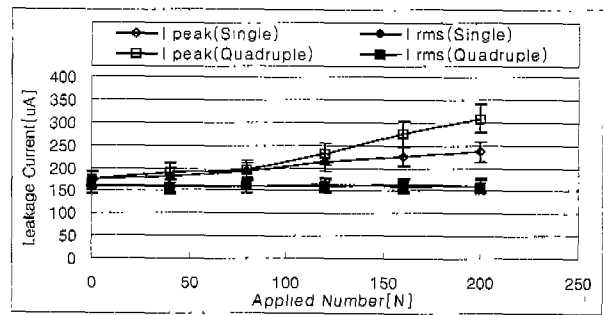
ZnO 소자에 뇌충격전류를 인가하고 열화진전에 따른 누설전류의 변화와 누설전류의 파고분포, 주위온도 변화에 의한 특성 변화를 실험하였다.

3.1 열화진전에 따른 누설전류의 변화

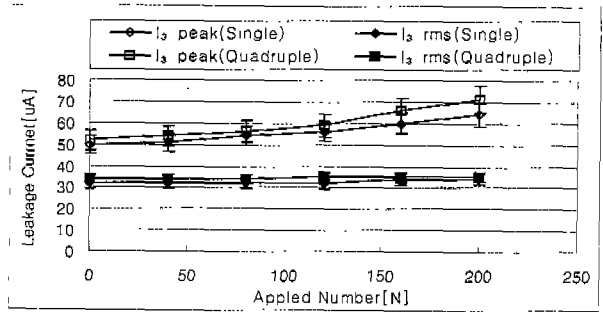
실험실 내에서 ZnO 소자를 가속 열화시키기 위하여 ZnO

소자에 단일 및 다중 뇌충격전류(8/20[us], 5[kA])를 인가하였다. 다중 뇌충격전류의 실험결과와 비교하기 위한 단일 뇌충격전류 인가실험의 경우, ZnO 소자에 뇌충격전류를 1분 간격으로 40회 인가하고 1시간 이상 충분히 냉각시키는 실험을 반복하였으며, 다중 뇌충격전류의 인가실험에서는 4중의 뇌충격전류를 10회 인가하고 1시간 이상 소자를 냉각시키는 방법을 적용함으로써, 측정시점에서는 단일 및 다중 뇌충격전류로 소자에 인가되는 에너지량이 동일하도록 하였다[4],[10].

ZnO 소자에 단일 및 다중 뇌충격전류로 동일한 에너지를 인가한 후, 정상운전전압(4.4[kV])에서 전체 누설전류 및 제 3조파 누설전류의 최대값과 실효값의 변화를 비교하여 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)를 예로 들면 뇌충격전류의 80회 인가는 단일 뇌충격전류를 1분 간격으로 1회씩 인가한 경우와 4회의 다중 뇌충격전류를 20회(단일과 비교하면 80회로 동일한 에너지량이 인가된 경우에 해당)인가하였을 때 누설전류를 측정하는 것이다.



(a) 전체 누설전류



(a) 제 3조파 누설전류

그림 3 정상운전전압에서 전체 누설전류 및 제 3조파 누설전류의 변화

Fig. 3 Changes of total and the 3rd harmonic leakage currents at normal operating voltage

전기적 정격이 같은 2개사 ZnO 소자에 대해 뇌충격전류를 인가하고 누설전류의 변화를 측정한 결과, 전체 누설전류의 실효값은 변화가 거의 없었으나, 최대값은 단일 뇌충격전류 인가실험에서와 마찬가지로 다중 뇌충격전류 인가방법에서도 증가하는 경향을 나타내었다. 누설전류의 최대값은 ZnO 소자의 종류에 따라 차이가 있으나, 본 실험에 사용한 A사와 B사의 경우, 200회의 뇌충격전류 인가시 초기 누설전류에 비해 현저하게 증가하였다[10].

ZnO 소자에 뇌충격전류로 동일한 에너지를 인가하였지만,

다중 뇌충격전류를 인가한 경우에 더 빠른 누설전류의 증가를 나타내었다. 이것은 입계층 쇼트키 장벽의 변형에 기인하는 것으로 동일한 소자에 대해 온도가 높은 경우 열화가 가속화되며, 이것에 의해 누설전류가 증가한다. 특히 다중 뇌충격전류 인가시는 충격전류에 의해 소자내의 ZnO 입자가 국부적으로 가열된 상태에서 수 십[ms] 이내에 계속하여 계면에 전계가 집중되고, 연속적인 뇌충격전류가 인가되기 때문에 단일 뇌충격전류의 인가시보다 빠르게 열화가 진행되어 누설전류도 빠르게 증가하는 것으로 생각된다. 그림 3(b)는 ZnO 소자에 흐르는 전체 누설전류 중에서 제 3조파 성분의 실효값과 최대값의 변화를 나타낸 것이고, 열화진전에 따라 제 3조파 누설전류의 변화도 전체 누설전류의 변화 경향과 같이 최대값의 증가가 현저히 나타났다.

3.2 열화진전에 따른 누설전류 파고분포

ZnO 소자는 열화진전에 따라 누설전류가 증가하며, 특히 최대값의 증가가 현저하였다. 그러므로 이들 누설전류의 파고분포를 분석할 필요가 있으며, 누설전류와 파고분포의 변화는 파괴기의 열화진단에 더 많은 정보를 제공할 것으로 판단한다.

그림 4는 ZnO 소자의 정상 운전전압에서 전체 누설전류의 파고분포를 나타낸 것으로, x축은 파고값의 크기, y축은 파고의 개수를 나타낸 것이다. 실험에는 신품, 뇌충격전류를 200회 인가한 것과 계속적으로 뇌충격전류를 인가하여 핀홀이 발생한 것의 3가지 시료에 대하여 측정하였다. 그림에 나타난 바와 같이 열화진전에 따라 파고값이 증가함은 물론 파고분포에 현저한 변화가 있음을 알 수 있다.

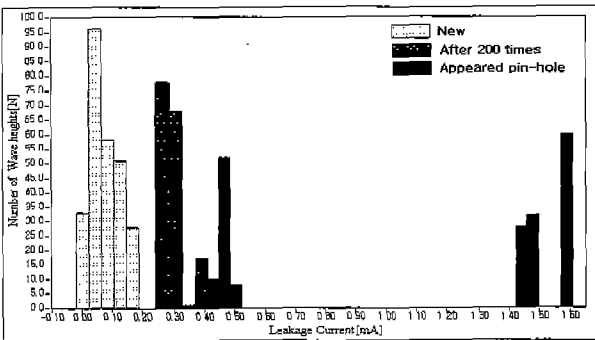


그림 4 전체 누설전류의 파고 분포
Fig. 4 Wave height distribution of the total leakage current

신품 소자의 경우, 누설전류의 최대값은 그림 4에서 180[uA] 정도로 나타났지만 파고분포에 있어서는 50[uA] 정도의 파고가 가장 많이 나타났으며, 뇌충격전류를 200회 인가한 소자의 경우에는 최대값이 300[uA] 정도이며 파고분포에 있어서는 250[uA]~300[uA] 부근의 파고가 많은 것으로 나타났다. 그리고 핀홀이 발생한 소자의 경우에는 정상운전전압에서 전체 누설전류의 최대값은 1[mA]를 넘었으며, 실효값도 크게 증가하여 823[uA]나 된다. 파고분포에서도 신품과 200회 인가한 경우와는 다르게 450[uA], 1.50[mA] 정도에서 파고들이 분포하는 것을 볼 수 있다. 그림 4에 나타난 바와 같이 열화진전에 따라 파고값이 증가함은 물론 파고분포에 현

저한 변화가 있음을 알 수 있다. 파괴기 열화진단 방법으로 가장 널리 이용하는 누설전류의 크기를 비교하는 것은 실효값 또는 최대값이 증가하는 경향을 비교하는 것으로, 변동범위가 크기 때문에 정확한 진단이 어려웠다. 그러나 누설전류의 파고분포에 의한 파괴기 열화진단은 주기적인 측정에 의해 파고분포의 현저한 차이를 확인할 수 있으므로 측정이 간편하고 열화진전 정도를 쉽게 판단할 수 있을 것으로 생각된다.

3.3 온도변화에 따른 누설전류의 변화

ZnO 소자는 배전선로의 운전전압이 가해진 상태에서도 계절에 따라 온도가 변화하므로, ZnO 소자의 온도변화에 대한 누설전류 특성을 조사하였다. 가열장치 내에 ZnO 소자를 설치하고 정상운전전압을 인가한 다음, 설정온도 20[°C]부터 100[°C]까지 측정하고 각 온도에서 5분간 유지한 후 측정할 결과를 그림 5에 나타내었다.

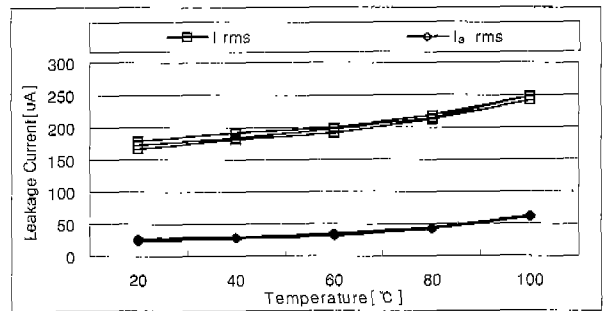


그림 5 주위 온도에 대한 누설전류의 변화
Fig. 5 Changes of the leakage current to ambient temperatures

온도증가에 따라 전체 누설전류와 제 3조파 누설전류가 증가하는 것을 알 수 있으며, 20[°C]에서는 전체 누설전류에 대하여 3조파 성분이 14[%]정도 되지만, 60[°C]에서는 17[%], 100[°C]에서는 25[%] 이상이 되는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 ZnO 소자를 구성하는 혼합물 중에서 Bi₂O₃, Al₂O₃ 성분이 온도가 증가함에 따라 누설저항이 지수함수적으로 감소하여, 전체 누설전류 중 저항분 누설전류(I_R)가 식 (1)과 같이 증가하여 제 3조파 누설전류로 검출되기 때문이다.

$$I_R = A \exp^{-1/T} \tag{1}$$

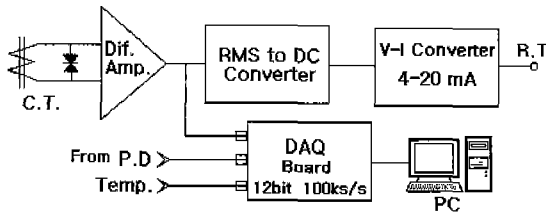
여기서 A는 비례상수, T는 절대온도[°K]를 나타낸다.

열화가 진전되는 과정에서 직·병렬로 연결된 일부 입자와 입계층만이 변형되었다면 임의의 전압에서 입계에 가해지는 전계가 입자 사이의 비선형 특성으로 어떤 전계 이상에서만 비선형 특성을 나타내면서 누설전류의 최대값의 변화가 관측될 것이며, 실효값은 정상운전전압의 1/2주기에서는 큰 변화로 나타나지 않을 것이다. 따라서 누설전류의 최대값 및 실효값을 함께 고려하고, 온도에 대하여 같이 고려하는 것이 열화의 진전 과정을 효과적으로 분석할 수 있을 것으로 생각된다.

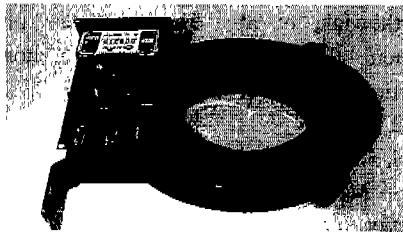
4. 열화진단 전문가 시스템

뇌층격전류 인가에 의한 ZnO 소자의 가속열화 실험결과로부터 피뢰기의 열화진단을 위한 전문가 시스템을 설계하였다.

본 연구에서 설계한 피뢰기 열화진단 전문가 시스템은 그림 6과 같이 고감도 변류기, 차동증폭회로, 신호변환회로, 입·출력장치(12[bit], 100[ks/s], 8[Ch]) 및 PC-base 분석 프로그램으로 구성되어 있다[11].



(a) 시스템 구성도



(b) 누설전류 검출장치

그림 6 전문가 시스템의 구성

Fig. 6 Configuration of the expert system

정상운전전압에서 피뢰기 또는 소자를 통해 흐르는 전체 누설전류는 100[μ A]~수[mA] 정도로 관통형 변류기를 이용하여 검출하였다. 피뢰기가 설치된 주변의 높은 전기장 및 외부 잡음에 의한 측정의 정확도와 안정성을 향상시키기 위하여 관통형 변류기는 정전 차폐하였으며, 관통형 변류기로부터 검출된 신호의 증폭은 차동증폭회로(가변이득 60[dB])로 설계하였으며, 누설전류 검출장치의 응답감도는 1[V]/1[mA]로 교정하였다.

또한 본 누설전류 검출장치는 누설전류의 기본파 및 제 3 고조파의 정확한 측정이 요구되므로 주파수 응답특성을 평가하였다. 관통형 변류기에 인가되는 전류의 주파수를 5[Hz]에서 4[kHz]까지 증가시키면서 누설전류 측정장치의 출력전압을 측정하여 그림 7에 나타내었다. 실험 결과로부터 본 측정장치의 주파수 대역(-3dB)은 7[Hz]~2.8[kHz]로 누설전류의 기본파 성분인 60[Hz]는 물론 제 3고조파 성분과 제 5고조파 성분을 전혀 감소 없이 검출이 가능한 특성이었다.

검출된 누설전류는 A/D 변환기에 입력되어 데이터 취득장치를 통해 개인용 컴퓨터로 전달된다. 데이터 취득장치는 피뢰기에 인가되는 전압과 누설전류 및 주위 온도를 동시에 측정할 수 있으며, 이들의 정보는 본 연구의 실험과정에서 필요한 정보를 획득할 수 있도록 그림 8과 같이 처리된다.

전문가 시스템에서는 각종의 알고리즘(대역필터, 주파수 분석, 파고분석기)을 적용하여, 입력된 신호(누설전류, 전원전

압, 온도)로부터 피뢰기 열화진단에 필요한 정보를 얻을 수 있으며, 세부사항은 다음과 같다.

- ① 전체 및 제 3조파 누설전류의 주파수 스펙트럼과 실효값, 최대값, 평균값
- ② 전원전압의 주파수 스펙트럼과 실효값
- ③ 전원전압과 전체 누설전류의 위상차
- ④ 누설전류의 파고분포
- ⑤ 주위 온도

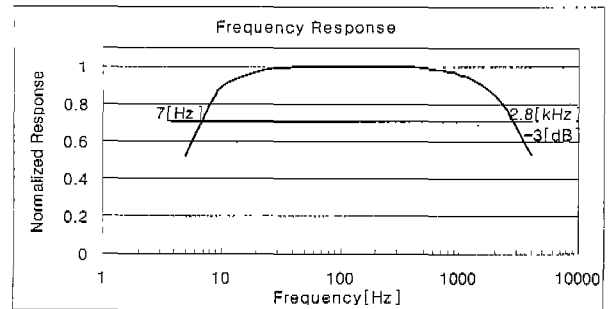


그림 7 누설전류 검출장치의 주파수 응답 특성

Fig. 7 Frequency response characteristics of leakage current detecting unit

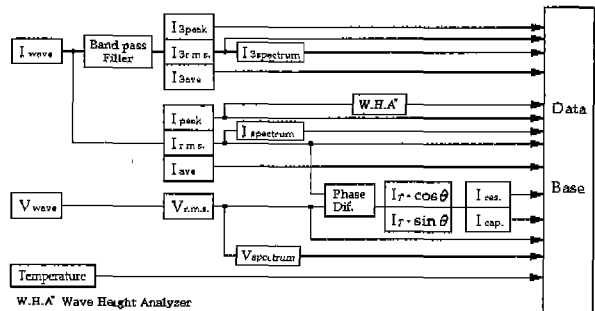


그림 8 신호처리 계통도

Fig. 8 Signal processing diagram

전문가 시스템에서 전체 누설전류의 제 3조파 누설전류인 180[Hz] 성분의 검출을 위한 대역통과필터는 고역통과필터와 저역통과필터를 직렬로 연결하여 구성하였으며, 두 개의 필터는 Butterworth형의 필터로 차수는 각각 15로 설정하고, 필터의 저역 차단주파수는 175[Hz], 고역 차단주파수는 185[Hz]로 설정하였다.

Butterworth형의 필터는 차단영역과 통과영역에서 리플이 없고, 차수가 높을수록 신호의 차단영역과 통과영역 사이의 출력이 변화하는 부분의 폭이 좁아지는 특성을 가지고 있다. 전원전압의 주파수 스펙트럼을 분석한 것은 전력선에 포함되어 있는 고조파성분에 의하여 누설전류에 어떠한 영향을 주는가를 확인하기 위하여 구성하였다.

그림 9는 배전용 피뢰기(18[kV], 5[kA])에 본 시스템을 적용하여 측정된 결과를 나타낸 것으로 출력화면에서 누설전류와 전원전압의 각 성분 및 주파수 스펙트럼 등을 파악할 수 있다.

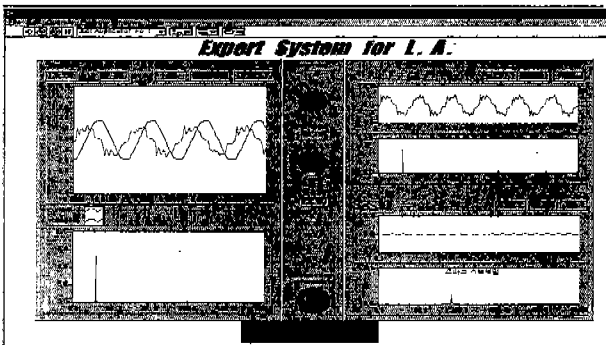


그림 9 출력 화면의 예
Fig. 9 Example of an output display

그림 10은 세가지 종류 즉, A사 및 B사는 피뢰기 신품을 C사는 배전선로에서 1년 6개월 정도 사용한 배전용 피뢰기 (18[kV], 5[kA])를 대상으로 정상 운전전압에서 전체 누설전류의 파고값을 1분 동안 측정된 것을 나타낸 것이다. A사와 B사의 경우에는 약간의 차이는 있지만 파고의 중심은 200[uA] 정도였으며, 100[uA]에서 300[uA]까지의 파고들이 분포하였다. C사의 제품은 A·B사와는 많은 차이를 가지고 있으며, 파고의 중심은 400[uA]이고 450[uA] 주위의 파고들이 많고 200[uA]에서 600[uA]까지의 파고들이 넓게 분포하고 있다. ZnO 소자에서도 세 가지의 시료에서 확인한 것처럼 열화진전의 정도에 따라 현저한 차이가 나타나는 것을 알 수 있다.

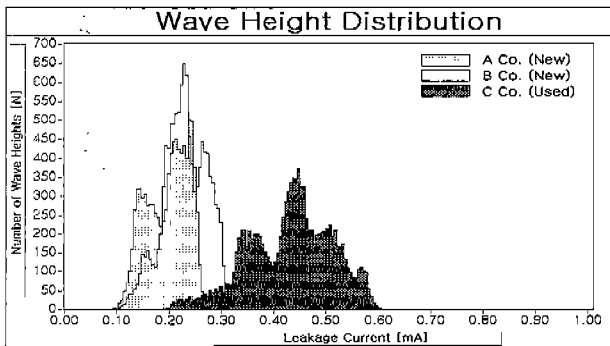


그림 10 누설전류의 파고 분포 예
Fig. 10 Example of a wave height distribution of the leakage current

5. 결 론

본 연구에서는 피뢰기의 열화진단을 위한 전문가시스템 설계를 위하여, ZnO 소자를 뇌충격전류로 가속 열화시키면서 열화진전에 따른 전기적 특성변화를 측정·분석하였다.

실험결과로부터 피뢰기는 열화진전에 따라 전체 누설전류 및 제 3조파 누설전류의 최대값의 변화가 현저하였으며, 피뢰기가 설치되어 있는 주위온도에 따라 누설전류가 크게 변화함을 알 수 있었다. 또한 미소한 열화진전에도 누설전류의 파고값 분포가 현저히 변화하는 것으로 확인하여 전문가 시스템은 이들의 전기적 정보를 모두 계측하고 분석할 수 있도

록 설계·제작하였다.

시제작한 전문가 시스템을 ZnO 피뢰기 소자 및 배전용 피뢰기에 적용하여 측정된 결과, 열화진단에 충분한 성능이 있음을 확인하였다. 향후 본 전문가 시스템의 정도를 향상시키기 위해서는 여러 가지 피뢰기에 적용실험을 수행하여 자료 축적이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 (주)효성의 연구비 지원에 의하여 중공업 PG 주관으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] S. Shichimiya, et al., "Development of advanced arresters for GIS with new Zinc-oxide Elements", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 13, No. 2, pp. 465~471, 1998.
- [2] M. Bartkowiak, et al., "Failure Modes and Energy Absorption Capability of ZnO Varistors", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 14, No. 1, pp. 152~162, 1999.
- [3] O. Nigol, "Methods for Analyzing the Performance of Gapless Metal Oxide Surge Arresters", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 7, No. 3, pp. 1256~1262, 1992.
- [4] 길경석 외, "뇌충격전류에 의한 산화아연형 피뢰기 소자의 전기적 특성변화", 대한전기학회 논문지, Vol.48, No.7, pp. 550~555, 1999.
- [5] 小島宗次 他, "酸化亜鉛形避雷器의 에너지-依存モデル", 日本電氣學會 論文誌B, 114卷 3号, pp. 310~316, 1994.
- [6] K. Feser, et al., "Behaviour of Zinc Oxide Surge Arresters Under Pollution", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 6, No. 2, pp. 688~695, 1991.
- [7] S. Tominaga, et al., "Stability and Long Term Degradation of Metal Oxide Surge Arresters", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No. 4, pp. 1548~1556, 1980.
- [8] S. Shirakawa, et al., "Maintenance of surge arrester by portable arrester leakage current detector", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 3, No. 3, pp. 998~1003, 1988.
- [9] J. Lundquist, et al., "New method for measurement of the resistive leakage currents of metal-oxide surge arrester in service", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 5, No. 4, pp. 1811~1822, 1990.
- [10] 길경석, 한주섭, "다중뇌충격전류에 의한 산화아연형 피뢰기 소자의 전기적 특성 변화", 대한전기학회 논문지, Vol.49C, No.12, pp. 685~690, 2000.
- [11] Gyung-Suk Kil, et al., "Electrical Characteristic Changes of ZnO Blocks by a Lightning Impulse

Current and an Expert System to Diagnose Deterioration of Lightning Arresters”, Proceedings of ICEE 2001, Vol.2, pp. 1281-1284, 2001.

[12] 山下嘉久 他, “ZnO파리스타의課電劣化要因の評價”, 日本電氣學會 論文誌B, 119卷 6号, pp. 652~657, 1999.

저 자 소 개



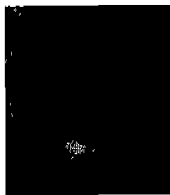
길 경 석 (吉 暲 碩)

1962년 6월 30일생. 1984년 인하대 전기 공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1996~현재 한국해양대학교 광과대학 전기전자공학부 부교수.
Tel : 051-410-4414, Fax : 051-403-1127
E-mail : kilgs@kmaritime.ac.kr



김 명 진 (金 明 珍)

1973년 8월 25일생. 2000년 한국해양대학교 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사)
Tel : 051-410-4893, Fax : 051-403-1127
E-mail : passion@kmaritime.ac.kr



한 주 섭 (韓 柱 燮)

1972년 1월 13일생. 1997년 부경대학교 제어계측공학과 졸업. 1999년 한국해양대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료.
Tel : 051-410-4893, Fax : 051-403-1127
E-mail : jshan@kmaritime.ac.kr



김 정 배 (金 正 培)

1966년 10월 12일생. 1989년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 일본 규슈대학 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1991~현재 효성 중공업연구소 창원분소 책임연구원.
Tel : 055-268-9917, Fax : 055-268-9928
E-mail : hico-jbkim@hyosung.com



송 재 용 (宋 在 鏞)

1975년 1월 28일생. 1997년 한국해양대학교 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료.
Tel : 051-410-4893, Fax : 051-403-1127
E-mail : hvlab@kmaritime.ac.kr



조 한 구 (趙 漢 九)

1959년 4월 14일생. 1984년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 전기기기 기술사. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1999~2000년 동서대 전자기계공학부 겸임교수, 현재 한국전기연구원 책임연구원.
Tel : 055-280-1670, Fax : 055-280-1673
E-mail : hgcho@keri.re.kr